

**EP0937999**

**Title:**  
**Optical system with polarisation compensator**

**Abstract:**

The optical system includes optical elements (2,11,12) which disturb the polarization distribution over the cross-section of a light beam (10). At least one double-refractive optical element (22) having an irregularly varying thickness over the cross-section is used to at least partially compensate for the disturbance in the polarization distribution. A method of manufacturing an optical system is also claimed.

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 0 937 999 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
25.08.1999 Patentblatt 1999/34

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: G02B 5/30, G03F 7/20

(21) Anmeldenummer: 99100940.8

(22) Anmeldetag: 20.01.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 20.02.1998 DE 19807120

(71) Anmelder:  
• Carl Zeiss  
89518 Heidenheim (Brenz) (DE)  
Benannte Vertragsstaaten:  
DE FR IT NL  
• CARL-ZEISS-STIFTUNG, trading as CARL ZEISS  
89518 Heidenheim (DE)  
Benannte Vertragsstaaten:  
GB

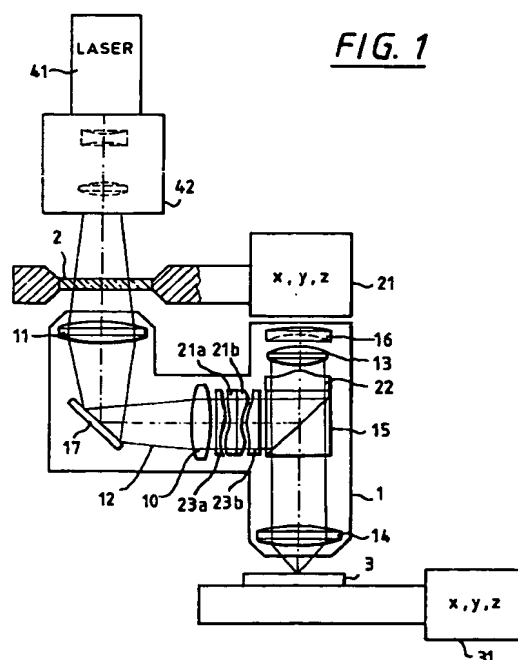
(72) Erfinder:  
• Fürter, Gerhard  
73479 Ellwangen (DE)  
• Kaiser, Winfried  
73431 Aalen (DE)  
• Wagner, Christian Dr.  
73431 Aalen (DE)  
• Gerhard, Michael Dr.  
73432 Aalen (DE)  
• Schuster, Karl-Helz  
89551 Königsbronn (DE)

### Bemerkungen:

Ein Antrag gemäß Regel 88 EPÜ auf Berichtigung der Zeichnungen liegt vor. Über diesen Antrag wird im Laufe des Verfahrens vor der Prüfungsabteilung eine Entscheidung getroffen werden (Richtlinien für die Prüfung im EPA, A-V, 3.).

### (54) Optisches System mit Polarisationskompensator

(57) Optisches System mit mindestens einem optischen Element (2, 11, 12), die eine Störung der Polarisationsverteilung über den Querschnitt eines Lichtbündels (10) bewirkt, wobei mindestens ein doppelbrechendes optisches Element (22) vorgesehen ist mit über den Querschnitt unregelmäßig variierender Dicke, derart daß die Störung der Polarisationsverteilung zumindest teilweise kompensiert wird. Die unregelmäßige Variation der Dicke des doppelbrechenden optischen Elements (22) wird durch Abtragung mit einem Ionenstrahl erzeugt.



EP 0 937 999 A1

## Beschreibung

[0001] In einem optischen System, das mit Licht definierter Polarisierung - z.B. linear polarisiert - ausgeleuchtet wird, tritt eine lokal unterschiedliche Störung der Polarisierung auf, verursacht unter anderem durch den von der Polarisationsrichtung abhängigen Reflexionsgrad an den geneigten optischen Grenzflächen und durch Spannungsdoppelbrechung in Linsen. Nach einem folgenden Analysator treten dann lokale Helligkeitsschwankungen auf.

[0002] Ein System, bei dem dieser Effekt von Bedeutung ist, sind die Projektionsbelichtungsanlagen der Mikrolithographie mit linear polarisiertem Excimer-Laser im DUV und katadioptrischem Reduktionsobjektiv mit Polarisationsstrahlteiler, wie z.B. aus der DE 196 16 922 (US Serial No. 08/845,384 vom 15.04.1997) bekannt, welche Patentanmeldung durch das Zitat hier voll enthalten sein soll.

[0003] Kompensatoren zur kontinuierlich veränderbaren Drehung einer Polarisationsrichtung sind bekannt, z.B. in Form des Soleil-Babinet-Kompensators, allerdings nur mit einheitlicher Wirkung für den ganzen Lichtbündelquerschnitt.

[0004] Phasenkorrekturplatten zur Wellenfrontkorrektur in Präzisionsoptiken z.B. durch Ionenstrahlätzen mit "Nanoasphären"-Feinstprofil bearbeitet, sind zum Einsatz in Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlagen bekannt.

[0005] Doppelbrechende Kristalle von Magnesiumfluorid und von Quarz sind zur Herstellung polarisationsoptischer Elemente mit Transmission im tiefen Ultraviolett (DUV) bei z.B. 193 nm geeignet. Daneben sind auch Elemente mit Spannungsdoppelbrechung, z.B. nach DE 196 37 563, bekannt.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Anordnung anzugeben, mit der lokale Störungen des Polarisationszustandes von Licht in einem optischen System ausgeglichen werden können. Speziell sollen die durch Polarisationsstörungen bewirkten Störungen der Homogenität in optischen Systemen mit Polarisationsstrahlteiler, wie in katadioptrischen Reduktionsobjektiven vom oben angegebenen Typ, ausgeglichen werden. Dazu ist ein Herstellverfahren anzugeben.

[0007] Gelöst wird die Aufgabe durch ein optisches System nach Anspruch 1 mit mindestens einem doppelbrechenden Element mit unregelmäßig variierender Dicke als Polarisationskompensator. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 8, wobei die Ansprüche 5, 6 und 7 auch die bevorzugte Anwendung angeben.

[0008] Besonders vorzuziehen ist die Ausführung nach Anspruch 2, bei der paarweise doppelbrechende Elemente mit gegeneinander verdrehten (vorzugsweise um 45°) Hauptachsen vorgesehen sind. Damit können wirklich hinsichtlich der Orientierung beliebige Polarisationsstörungen ausgeglichen werden.

[0009] Ebenso optimiert die Anordnung von Kompen-

sationsplatten aus isotropem Material nach Anspruch 3 die Korrektur.

[0010] Das erfindungsgemäße Herstellverfahren wird in Anspruch 8 angegeben, dazu in den Ansprüchen 9 und 10 vorteilhafte Ausführungsformen.

[0011] Näher erläutert wird die Erfindung anhand der Zeichnung.

Figur 1 zeigt schematisch eine Projektionsbelichtungsanlage mit doppelbrechenden Polarisations-Korrekturelementen.

Figur 2 zeigt schematisch zwei Polarisations-Korrekturelemente mit verschiedenen Hauptachsenrichtungen.

[0012] Kern der Projektionsbelichtungsanlage nach Figur 1 ist ein katadioptrisches Reduktionsobjektiv 1, welches eine Maske (Retikel) 2 auf einem Wafer 3 verkleinert abbildet. Maske 2 wie Wafer 3 sind an Halte- und Positioniersystemen 21, 31 angebracht, mit denen die genaue Positionierung und die Step-and-Repeat- bzw. Step-and-Scan-Abläufe durchgeführt werden.

[0013] Durch einen Laser 41, insbesondere einen linear polarisierten DUV-Excimer-Laser, mit nachgeordneter Beleuchtungs-Optik 42, wird die Maske 2 geeignet beleuchtet.

[0014] Das Reduktionsobjektiv 1 besteht zunächst in bekannter Weise aus Linsengruppen 11 bis 14, dem Polarisationsstrahlteilerwürfel 15, dem Umlenkspiegel 17, dem Konkavspiegel 16 und einer Lambdaviertelplatte 22.

[0015] Aus den verschiedensten Einflüssen (u. a. Spannungsdoppelbrechung) resultierend ergibt sich im Strahlengang eine Störung des Polarisationszustands mit über den Querschnitt lokal variierender Richtung und Größe. Damit wird die Strahlteilung am Polteiler inhomogen, das Bild wird gestört, wenn keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

[0016] Erfindungsgemäß sind im Strahlengang 10 hinter den Linsengruppen 11, 12 doppelbrechende optische Elemente 21a, 21b (mindestens eines) vorgesehen, deren Dicke über den Querschnitt unregelmäßig ist, und welche die lokalen Störungen der linearen Polarisierung im Strahlengang 10 kompensieren - zumindest teilweise -.

[0017] Zur optimalen Erfassung und Korrektur aller Polarisationsrichtungen sind zwei Elemente 21a, 21b erforderlich, deren Hauptachsen MCA gegeneinander verdreht sind, am besten um 45°, wie Fig. 2 zeigt.

[0018] Auch die Lambdaviertelplatte 22 ist im Beispiel derartig in ihrer Dicke korrigiert und kompensiert die im weiteren Strahlengang auftretenden Polarisationsfehler und ggf. Restfehler. Bei ihr ist zu beachten, daß sie vom Lichtbündel 10 zweimal durchlaufen wird.

[0019] Platten 23a, 23b aus isotropem Material (Quarzglas) weisen zu den Korrekturplatten 21a, 21b optisch negative Formen auf. Dadurch wird der optische

Weg über dem ganzen Querschnitt des Lichtbündels 10 wieder gleich, so daß die Wellenfront durch die Kombination der Elemente 21a, 21b und Platten 23a, 23b nicht gestört wird.

[0020] Hergestellt werden können die Freiformflächen der Elemente 21a, 21b und der Platten 23a, 23b durch Ionenstrahl-Bearbeitung. Die Dickenmodulation der Elemente 21a, 21b bzw. Platten 23a, 23b bewegt sich dabei um Werte bis ca 3 µm.

[0021] Zur Vermeidung von Reflexionen an den Grenzflächen werden die Elemente 21a, 21b und Platten 23a, 23b untereinander und mit dem Strahlteilerwürfel 15 möglichst ohne Luftspalt vereinigt. Dies gelingt durch Ansprengen oder durch Verkitten, letzteres allerdings nicht im DUV-Wellenlängenbereich.

[0022] Aus dem gleichen Grund werden die Platten 23a, 23b aus isotropem Material vorzugsweise zu einem Element vereinigt einteilig ausgeführt.

[0023] Vorteilhaft sowohl von der Herstellung wie von der genauen Paßform und dem spaltfreien Fügen ist es, wenn die Platten 23a, 23b jedoch durch Beschichten der bearbeiteten Fläche der Polarisationskompensator-Elemente 21a, 21b mit isotropem Material - z.B. CVD-Abscheidung von Quarzglas - erzeugt werden, das zum Schluß optisch poliert wird. Die aus den unterschiedlichen Brechungsindices resultierende Reststörung der Wellenfront kann durch Ionen- oder Atomstrahl-Bearbeitung mit kleineren Höhendifferenzen noch korrigiert werden.

[0024] Die als Polarisations-Korrekturelement ausgebildete Lambdaviertelplatte 22 ist nur exemplarisch allein gestellt, auch hier ist die Kombination mit einem isotropen (amorphen) Kompensator und die bauliche Vereinigung mit benachbarten Elementen, insbesondere durch Ansprengen an den Strahlteilerwürfel 15, sinnvoll und vorteilhaft.

[0025] Die Form der Korrekturflächen der Elemente 21a, 21b, 22 und Platten 23a, 23b wird vorzugsweise für jedes Objektiv einzeln festgelegt. Dazu kann die Qualität von Testbelichtungen ausgewertet werden, oder es kann mit Rastersonden die lokale Polarisation bzw. die Wellenfront im Querschnitt des Lichtbündels 10 bestimmt werden.

#### Patentansprüche

1. Optisches System mit mindestens einem optischen Element (2, 11, 12), die eine Störung der Polarisationsverteilung über den Querschnitt eines Lichtbündels (10) bewirkt, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein doppelbrechendes optisches Element (22) vorgesehen ist mit über den Querschnitt unregelmäßig variierender Dicke, derart daß die Störung der Polarisationsverteilung zumindest teilweise kompensiert wird.

2. Optisches System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei doppelbre-

chende optische Elemente (21a, 21b) mit variierender Dicke vorgesehen sind, deren Hauptachsen gegeneinander verdreht sind, vorzugsweise um 45°.

3. Optisches System nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Platte (23a, 23b) aus isotropem Material vorgesehen ist, mit über den Querschnitt variierender Dicke, derart daß Störungen der Wellenfront durch das doppelbrechende optische Element (21) ausgeglichen werden.

4. Optisches System nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine obengenannte Platte (23a, 23b) und ein obengenanntes doppelbrechendes optisches Element (21a, 21b) vereinigt sind.

5. Optisches System nach mindestens einem der Ansprüche 1-4, dadurch gekennzeichnet, daß ein Polarisationsstrahlteiler (15) enthalten ist.

6. Optisches System nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein besagtes doppelbrechendes optisches Element (21a, 21b, 22) und/oder eine obengenannte Platte (23a, 23b) mit dem Polarisationsstrahlteiler (15) baulich vereinigt ist.

7. Optisches System nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß es ein katadioptrisches Objektiv (1) enthält, in dem der Polarisationsstrahlteiler (15) angeordnet ist, und daß ein besagtes doppelbrechendes optisches Element (21a, 21b) im Strahlengang vor dem Polarisationsstrahlteiler (15) angeordnet ist.

8. Optisches System nach mindestens einem der Ansprüche 5, 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein besagtes doppelbrechendes optisches Element (22) im vom Lichtbündel (10) doppelt durchlaufenen Weg zwischen Polarisationsstrahlteiler (15) und Konkavspiegel (16) angeordnet ist.

9. Verfahren zur Herstellung eines optischen Systems, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teilsystem (11, 17, 12) fertig montiert und justiert wird, dieses polarisationsoptisch präzisionsvermessen wird, entsprechend den polarisationsoptischen Meßdaten mindestens ein doppelbrechendes optisches Element (21a, 21b, 22) lokal unterschiedlich abgetragen wird, vorzugsweise durch Ionenstrahlbearbeitung, und dann dieses Element (21a, 21b, 22) in den Strahlengang (10) hinter dem genannten Teilsystem (11, 17, 12) eingebracht wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein zweites doppelbrechendes optisches Element (21b) mit gegenüber dem ersten

(21a) verdrehter Hauptachse (MCA) ebenfalls lokal unterschiedlich abgetragen wird und in den Strahlengang (10) eingebracht wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch 5  
gekennzeichnet, daß zusätzlich mindestens eine  
Wellenfrontkompensations-Platte (23a, 23b) aus  
isotropem Material hergestellt wird, mit zu den  
obengenannten Elementen (21a, 21b) optisch kom-  
plementärer Dickenverteilung über dem Quer- 10  
schnitt, und daß diese den obengenannten  
Elementen (21a, 21b) benachbart in den Strahlen-  
gang (10) eingebracht wird.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG. 1

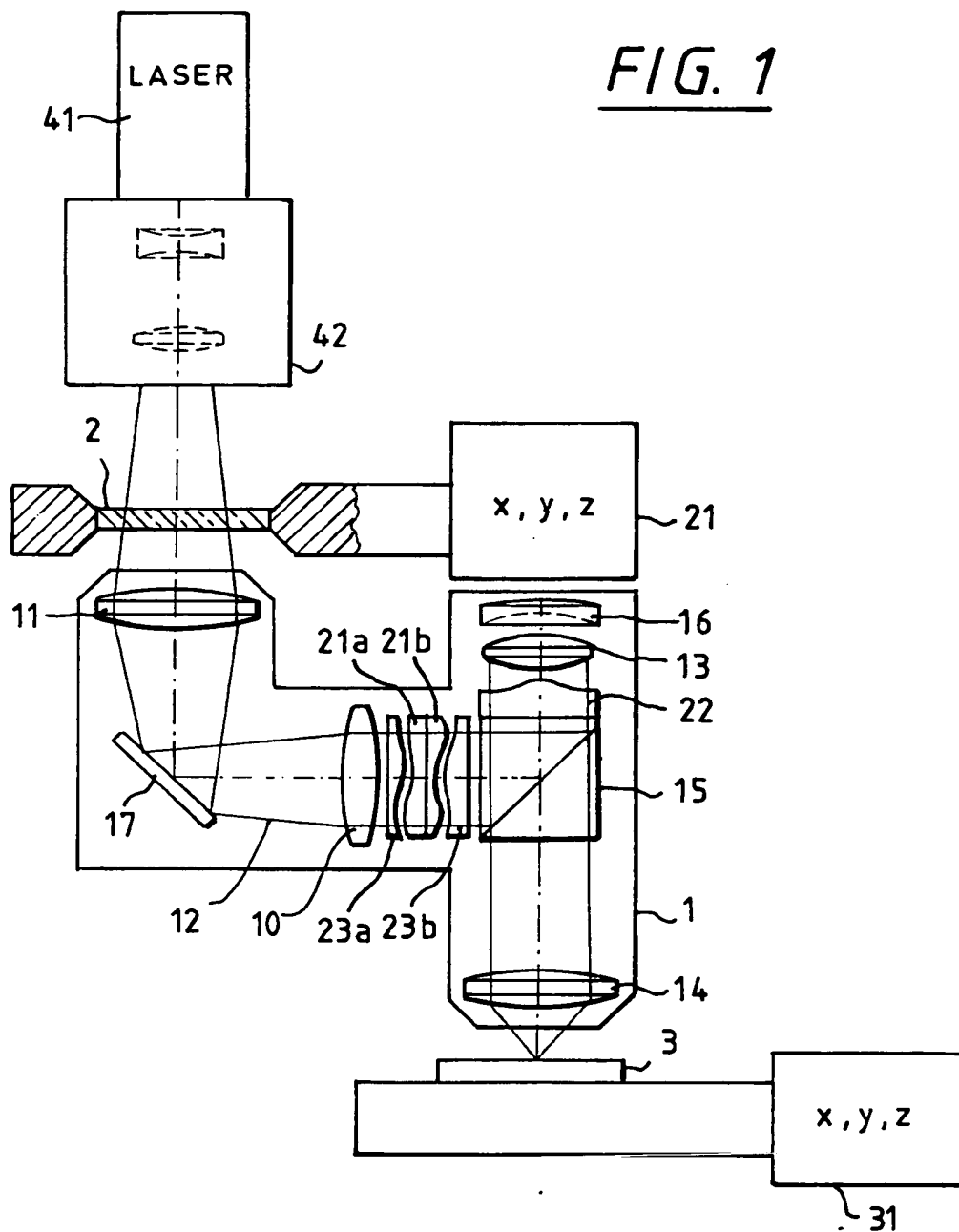
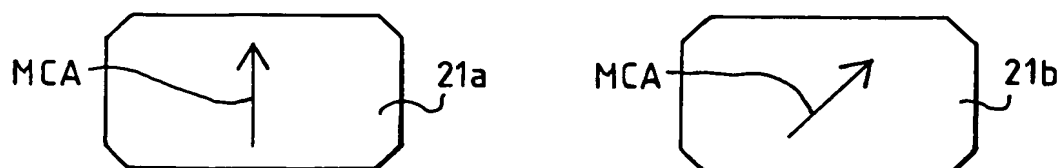


FIG. 2





Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 99 10 0940

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
P,D, A	DE 196 37 563 A (ZEISS CARL FA) 19. März 1998 * Spalte 4, Zeile 39 - Zeile 46 *	1,9	G02B5/30 G03F7/20
A	US 3 663 087 A (GUILLET HUBERT ET AL) 16. Mai 1972 * Spalte 3, Zeile 71 - letzte Zeile; Abbildung 3 * * Spalte 4, Zeile 22 - Zeile 24 * * Spalte 4, Zeile 39 - Zeile 55; Abbildung 4 *	1-3,9	
A	EP 0 764 858 A (ZEISS CARL ; ZEISS STIFTUNG (DE)) 26. März 1997 * Zusammenfassung; Abbildung 1 *	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			G02B G03F H01S
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>BERLIN</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>12. Mai 1999</b>	Prüfer <b>Ciarrocca, M</b>
<p><b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b></p> <p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur</p> <p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument</p> <p>..... &amp; : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>			

EPO FORM 1503 03.82 (P4C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 99 10 0940

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

12-05-1999

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19637563 A	19-03-1998	EP 0834753 A	08-04-1998
		JP 10104423 A	24-04-1998
US 3663087 A	16-05-1972	FR 2020466 A	10-07-1970
		FR 2038560 A	08-01-1971
		BE 744452 A	15-06-1970
		CA 920715 A	06-02-1973
		CH 520421 A	15-03-1972
		DE 2003397 A	01-10-1971
		GB 1272051 A	26-04-1972
		JP 48017092 B	26-05-1973
		LU 60220 A	23-03-1970
		NL 7001154 A	30-07-1970
EP 0764858 A	26-03-1997	DE 19535392 A	27-03-1997
		JP 9184918 A	15-07-1997

EPO FORM P0481

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82